

CONTART 2016. La Convención de la Edificación  
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y  
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica  
de España, p.99-106

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: LOS PCM PARA EL AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICACIÓN

LASHERAS ESTRELLA, ANA<sup>1</sup>; ALCANIZ MARTÍNEZ, JESÚS H.<sup>2</sup>;  
ESTRELLA SEVILLA, EMILIO<sup>3</sup>

*1: Escuela Politécnica Superior*

*UCAM (Universidad Católica de Murcia)*

*e-mail: alasheras@ucam.edu, web: <http://www.ucam.edu>*

*2: Escuela Politécnica Superior*

*UCAM (Universidad Católica de Murcia)*

*e-mail: jalcaniz@ucam.edu, web: <http://www.ucam.edu>*

*3: Departamento de Ingeniería Civil*

*UPCT (Universidad Politécnica de Cartagena)*

*e-mail: l1ees@ciccp.es, web: <http://www.upct.es>*

**Palabras clave:** PCM; eficiencia energética; edificación; inercia térmica.

## RESUMEN

Desde hace siglos se ha aprovechado la inercia térmica de los materiales para disminuir el consumo energético en Edificación. Los materiales de cambio de fase son una de las formas más eficientes de almacenamiento térmico. Se conocen internacionalmente por su acrónimo en inglés PCM (Phase Change Materials). En los últimos años se han realizado numerosas investigaciones con el fin de incorporarlos a algunos elementos constructivos y mejorar así su inercia térmica.

El almacenamiento de energía térmica mediante el uso de PCM se ha convertido en un tema de notable interés para toda la comunidad científica, especialmente en campos como la Arquitectura y la Ingeniería. Existe una extensa producción científica al respecto, pero la información existente en ocasiones puede resultar muy extensa y poco contextualizada para el campo de la Edificación.

Mediante la presente comunicación se realiza una revisión sistemática de las publicaciones más recientes respecto al uso de los PCM en edificación y se valora su potencial real de aplicación. A la vista de los resultados obtenidos en las investigaciones

analizadas se concluye que estos materiales constituyen una alternativa prometedora y complementaria con otras acciones encaminadas a la eficiencia energética.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen dos grandes problemas: la crisis energética y la contaminación ambiental [1]. El aumento de  $\text{CO}_2$  se atribuye principalmente a la creciente población mundial y al crecimiento relacionado con la demanda energética, lo que se traduce en un gran consumo de combustibles fósiles. Por tanto la gestión de la energía se contempla, desde fechas recientes, como una línea estratégica de actuación en el marco internacional, mediante la aplicación de medidas de ahorro energético a nivel mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera es actualmente la amenaza ambiental más grave, y al mismo tiempo un factor que limita el crecimiento económico [2,3]. El cambio climático provocará efectos perjudiciales en las próximas décadas [2] que afectarán tanto a los sistemas naturales como humanos [4].

La combustión de los combustibles fósiles utilizados en la industria de la energía emite a la atmósfera  $\text{CO}$  y gases de efecto invernadero como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  [5, 6]. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  son las principales relacionadas con el cambio climático, lo que representa el 82% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de la UE en 2002 [7, 8]. Tres cuartas partes del volumen de  $\text{CO}_2$  se atribuyen a la actividad humana y están directamente relacionados con la combustión de combustibles fósiles [9, 6, 10, 11] (35 a 36% de las emisiones mundiales de  $\text{CO}_2$  [10] y alrededor de 39% de las emisiones totales de  $\text{CO}_2$  de la UE se produce a partir de la producción de electricidad y calor [12, 13]). Estas emisiones son consideradas como la causa principal del calentamiento global que se producirá en los próximos 40 años [4]. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  relacionadas con la energía, que representan, por ejemplo, más del 80% de las emisiones en los EE.UU [14] (EE.UU. es uno de los mayores consumidores de energía, siendo Japón y Alemania, el segundo y el tercero en el G- 8 [15]), han movido [16] a muchos países a adoptar medidas para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero [9].

El escenario energético nacional actual nos revela que la energía primaria consumida en España proviene en su mayor parte de fuentes no renovables, energías contaminantes y recursos limitados, como el petróleo, el gas y el carbón. Particularmente, el consumo en edificios representa un porcentaje significativo de éste consumo [17]. Por ello toda medida de ahorro de energía en los edificios conlleva un beneficio medioambiental. En el plan nacional 2008-2012 publicado por el Ministerio de Educación y Ciencia se recalca la relación existente entre el cambio climático y la energía, y se señalan los importantes compromisos adquiridos para 2020 por la UE y sus estados miembros.

En el caso español, la necesidad de cumplir estos objetivos es incluso más acentuada que en el resto de Europa. Por una parte, la dependencia de las importaciones es sensiblemente más alta, alcanzando el 80%. Por otra, el incremento de su intensidad energética hasta el año 2004 y la participación en el consumo de combustibles fósiles han alejado a España de sus compromisos medioambientales. La UE ha identificado la política de I+D+i como una de las herramientas más eficaces para abordar los

nuevos retos del sector de la energía y la lucha contra el cambio climático. En este sentido, el programa Marco Europeo de I+D+i ha destinado una parte importante de su presupuesto a los programas de energía y cambio climático [18].

Debido a la necesidad de ahorro energético y sostenibilidad en edificación surge asimismo la necesidad de buscar materiales con formas de almacenamiento de calor pasivo, que puedan proporcionar a la edificación mayor capacidad de almacenamiento térmico. La necesidad de buscar formas de acondicionamiento pasivo, en que el ahorro energético tenga una componente importante, es fundamental, porque no sólo permite reducir gastos, sino también limitar el uso de combustibles tradicionales [19]. En los últimos años los sistemas de almacenamiento de energía térmica (SAE) están suscitando un gran interés ya que nos permite adaptar los periodos de suministro a los de demanda energética, por lo que constituyen un gran potencial para mejorar de la eficiencia energética [17].

Desde hace siglos se ha aprovechado la inercia térmica de los materiales para disminuir el consumo energético. El uso del almacenamiento térmico tiene las siguientes ventajas [1]:

Puede conservar la energía derivada de muchas fuentes de energía: energía solar, calor residual de los equipos, calor proporcionado por la infiltración de aire caliente y el calor producido por los ocupantes. Disminuye el consumo de energía. Como resultado, la inversión y los costes de operación de las instalaciones para la producción de frío y/o calor, su transmisión y distribución se pueden reducir y el consumo mejorar.

El control térmico natural de los espacios habitables ha sido una práctica llevada a cabo en todas las culturas. En la actualidad, se están realizando nuevos estudios basados en el calor sensible de los materiales para el acondicionamiento de viviendas. En muchos países europeos el calor se guarda en tanques de agua o lechos de piedra. Los mayores problemas de esta forma de almacenamiento térmico son la gran cantidad de masa o de volumen que se necesita para almacenar la energía, y las pérdidas energéticas que se producen (vinculadas a la variación de temperatura de la masa acumuladora) [2]. Las estrategias encaminadas a desarrollar diseños pasivos contribuyen a mejorar el confort en el interior de los edificios y a aumentar la eficiencia energética [20].

Los materiales de cambio de fase son una de las formas más eficientes de almacenamiento térmico. Se conocen internacionalmente por su acrónimo en inglés PCM (Phase Change Materials) y en adelante ésta será su denominación en el presente trabajo. Un cambio de fase es aquel que experimenta un cambio de estado (sólido líquido gaseoso) a una temperatura determinada. El hielo es el elemento más utilizado para explicar el proceso del cambio de fase [4].

El interés de los PCM es que, durante el cambio de fase la temperatura se mantiene constante mientras que el material absorbe energía [21]. Otro aspecto muy positivo es la menor temperatura a la cual se almacena energía, consiguiendo por tanto unas pérdidas menores. Por este motivo se ha considerado su uso en Edificación.

Desde el primer tercio del siglo pasado se han diseñado y fabricado numerosos materiales de cambio de fase con diferentes propiedades físicas, químicas, cinéticas y térmicas, para responder a las diferentes necesidades, usos y aplicaciones que se les requerían [2]. En el campo de la construcción se están realizando investigaciones para incorporar los PCM a algunos elementos constructivos, con el fin de mejorar su inercia térmica [22].

## 2. METODOLOGÍA

Aunque la investigación sobre los materiales de cambio de fase se inició a finales de los años 70, en los últimos ocho años se ha producido un incremento significativo a nivel mundial de la producción científica relacionada con este campo. A través de la presente investigación, se ha analizado gran parte de la información existente sobre la aplicación de materiales de cambio de fase en edificación. Para ello se analizan varios artículos de interés y de reciente publicación, en fuentes fiables, tales como patentes o revistas clasificadas en el JCR (Journal Citation Report) con la finalidad de estudiar la viabilidad de los PCM, valorando su potencial real de aplicación en edificación. Se han seleccionado varios trabajos (Tabla 1) que analizan la incorporación de los PCM en diferentes elementos, como son: suelos, paredes y techos, para así obtener temperaturas de confort constantes en el interior de la vivienda.

Tabla 1. Relación de los artículos analizados [23], [24], [25], [26], [27], [28].

| Situación | Artículos analizados   |
|-----------|--|
| Suelos    | Radiant floors integrated with PCM for indoor temperature control  |
|           | Thermal energy storage and release of a new component with PCM for integration in floors for thermal management of buildings |
| Muros     | Energetic efficiency of room wall containing PCM wallboard: A full-scale experiment investigation                            |
|           | Microencapsulation of caprylic acid with different wall materials as phase change material for thermal energy storage        |
| Cubiertas | Field thermal performance of naturally ventilated solar roof with PCM heat sink  |
|           | Concrete roof with cylindrical holes containing PCM to reduce the heat gain  |

## 3. RESULTADOS

### 3.1 SUELOS

En el estudio realizado por Ansuini et al. [23], se investigó una aplicación de suelo radiante preparado con materiales de cambio de fase. Se analizaron las condiciones de temperatura y flujo de aire en el interior del prototipo desarrollado. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Como resumen del anterior trabajo, para el estudio de un sistema de suelo radiante que contiene una capa de PCM, el modelo ha sido optimizado mediante la inclusión de una matriz de acero, que actúa como difusor térmico, lo que condujo a una reducción en el comportamiento de fusión estratificada del material PCM granulado. El modelo realizado en 2D, permitió analizar las condiciones termodinámicas del fluido a través de los tubos, tanto en la dirección perpendicular, como en la paralela a la superficie del suelo radiante. Los autores de la investigación han estudiado a su vez el comportamiento del suelo radiante y su impacto sobre las condiciones ambientales en el interior de la habitación, en condiciones reales.

En el artículo realizado por Royon et al. [24], se analizó la influencia de la incorporación de PCM en suelos, para la mejora del almacenamiento térmico en edificios. Para ello se realizó la inclusión de un nuevo compuesto polimérico de un PCM, que contiene un 85% de parafinas y cuyo punto de fusión se encuentra a 27° C aproximadamente, en un panel de hormigón ahuecado. Los resultados mostraron la influencia positiva de la incorporación de los PCM, ya que se consiguió una disminución de la amplitud térmica, en la superficie de la pared y un aumento del almacenamiento térmico.

### 3.2 MUROS

En el trabajo realizado por Kúznik et al. [25] se llevó a cabo un ensayo a gran escala, mediante un estudio comparativo, bajo las mismas condiciones externas, entre el comportamiento de muros que contienen PCM, frente a otros que no. A la vista de los resultados obtenidos, se determina que el PCM permite reducir las fluctuaciones interiores de aire, especialmente en las ocasiones en que se produce un sobrecalentamiento. Este estudio se llevó a cabo para estudiar la envolvente del edificio. Para ello desarrollan un análisis diferencial de paredes con y sin PCM, bajo condiciones térmicas controladas. La temperatura medida en la superficie de las paredes fue menor cuando se usó PCM. Por otra parte, el PCM refuerza la convección natural, evitando así estratificaciones térmicas incómodas, producidas por la variación de la densidad del aire con la temperatura, donde el calor tiende a subir y se mantiene la parte superior caliente y la inferior fría, provocando una sensación térmica poco confortable.

En la investigación desarrollada por Konuklu et al. [26] se estudió la incorporación en muros de ácido caprílico microencapsulado para el almacenamiento de energía térmica. El tamaño de las partículas de PCM microencapsulado se analizaron a través de las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) y Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR). Se determinó a través de los resultados obtenidos mediante las diferentes técnicas instrumentales empleadas que los que las microcápsulas se sintetizaron con éxito, recomendándose su aplicación para el almacenamiento de energía térmica en edificios.

### 3.3 CUBIERTAS

En el trabajo realizado por Košny et al. [27], se evaluó el comportamiento térmico de una nueva tecnología basada en la incorporación de paneles fotovoltaicos en la cubierta de un edificio. Con objeto de reducir el puente térmico que se produce entre la unión de la cubierta y la fachada, se incorporaron materiales de cambio de fase (PCM). Los resultados obtenidos mostraron una disminución del 30% de la energía empleada para calefactar y del 50% de la empleada para enfriar. Se realizó un estudio comparativo entre una cubierta con PCM y una sin PCM, estudiando el rendimiento térmico de ambas. Los resultados del trabajo demostraron que, durante el invierno, la cubierta con PCM tuvo una reducción del 30% de los gastos generados en calefactar, en comparación con los obtenidos en la cubierta convencional. En verano, en la cubierta con PCM se consiguió un consumo un 55% más bajo que en la cubierta sin PCM. Se comprobó que

alrededor de dos terceras partes del número total de días estudiados, el PCM pasó por el proceso de cambio de fase.

En la investigación realizada por Alqallaf et al. [28], se desarrolla el análisis térmico de un edificio cuya cubierta de hormigón presenta huecos cilíndricos verticales, rellenos con un material de cambio de fase. El modelo tiene como objetivo aumentar la capacidad de almacenamiento térmico de la cubierta. Se ha llevado a cabo un estudio paramétrico para determinar el diámetro de los huecos. Los resultados indican que la transmisión de calor al interior de la vivienda se puede reducir significativamente con los huecos de los diámetros más grandes estudiados. La efectividad térmica de la cubierta estudiada, que contiene PCM, se evaluó comparando los resultados obtenidos con los que se alcanzaron en un cubierta de hormigón maciza. Los resultados indicaron que mediante los huecos de mayor diámetro se obtuvieron mejores resultados de aislamiento térmico. Los autores afirman que para optimizar el rendimiento de la cubierta se debe seleccionar el PCM adecuado, en función de la temperatura de fusión y del período estacional estudiado. A la vista de este estudio los autores concluyen indicando que se podría mejorar aún más el rendimiento térmico de la cubierta diseñada en futuras investigaciones.

#### 4. CONCLUSIONES

A la vista de las publicaciones analizadas y tras revisar el estado actual de los PCM en Edificación concluimos que:

Existe una necesidad evidente de desarrollar técnicas y sistemas constructivos encaminados a la eficiencia energética, y en ese sentido los PCM pueden resultar una opción prometedora.

Dada la gran variedad de PCM que se comercializan en la actualidad surge la necesidad de una correcta elección en función de las necesidades prevista y la disposición del mismo dentro de la edificación.

Los PCM basan su funcionamiento en sucesivos ciclos de fusión y solidificación. Durante la fusión el material absorbe calor del ambiente reduciendo el aumento de temperatura que se produciría durante el día en verano. En la solidificación el material libera este calor por la noche. La suma de ambos procesos, repetidos de forma cíclica, mejora la confortabilidad de la vivienda.

Gracias al uso de PCM se reduce la dependencia de los sistemas de climatización y calefacción convencionales, produciéndose así un ahorro energético. Por ejemplo en viviendas para reducir las oscilaciones de temperatura en torno a la temperatura confort (22 °C).

Para implementar en edificación sistemas basados en PCM, sería preciso el desarrollo previo de prototipos o modelos que arrojen datos objetivos. A lo anterior, se une también el hecho de que las soluciones planteadas para suelos, muros y cubiertas serían diferentes, e incluso, se podrían obtener resultados distintos aplicando los mismos sistemas.

En cuanto a los trabajos analizados, la mayoría se refieren a viviendas unifamiliares, donde la relación entre la superficie expuesta (cubierta, suelo, paredes) y el volumen interno de la vivienda es alta. Esto quiere decir que la eficacia del sistema está limitada por la relación entre ambos parámetros.

Podemos afirmar que la introducción de PCM y la contribución de los mismos, en la actualidad, es insuficiente como para pensar en su uso inmediato.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Psomopoulos, C.S., Skoula, I., Karras, C., Chatzimpiros, A., Chionidis, M. (2010). Electricity savings and CO<sub>2</sub> emissions reduction in building sector: How important the network losses are in the calculation? *Energy*, 35, 485-490.
- [2] IPCC Climate change 2001: mitigation Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge (2001).
- [3] Liu, C.C. (2007). An extended method for key factors in reducing CO<sub>2</sub> emissions. *Applied Mathematics and Computation*, 189, 440-451.
- [4] Houghton, J.T., Jenkins, G.J., Ephraums, J.J. (1990). Climate change, the IPCC scientific assessment. *Cambridge University Press*, Cambridge.
- [5] Uliasz-Bockenczyk, A., Mokrzycki, E. (2007). Emissions from the Polish power industry. *Energy*, 32(12), 2370-2375.
- [6] Saidur, R., Masjuki, H.H., Jamaluddin, M.Y., Ahmed, S. (2007). Energy and associated greenhouse gas emissions from household appliances in Malaysia. *Energy Policy*, 35(3), 1648-1657.
- [7] Johansson, P., Nylander, A., Johnsson, F. (2006). Electricity dependency and CO<sub>2</sub> emissions from heating in the Swedish building sector-current trends in conflict with governmental policy? *Energy Policy*, 34(17), 3049-3064.
- [8] Balaras, C.A., Gaglia, A.G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Lalas, D.P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42(3), 1298-1314.
- [9] Ellis, J., Treaton, K. (1998). Recent trends in energy-related CO<sub>2</sub> emissions. *Energy Policy*, 26(3), 159-166.
- [10] Emission of greenhouse gases by energy complex of Russia for the period up to 2020 EUF of RAO "EES Rossii" INER RAS. -M. (2001) 53.
- [11] Hammons, T.J. (2006). Impact of electric power generation on greenhouse gas emissions in Europe: Russia, Greece, Italy and views of the EU power plant supply industry – a critical analysis. *Electrical Power and Energy Systems*, 28 (8), 548-564.
- [12] Johansson, P., Nylander, A., Johnsson, F. (2006). Electricity dependency and CO<sub>2</sub> emissions from heating in the Swedish building sector-current trends in conflict with governmental policy? *Energy Policy*, 34(17), 3049-3064.
- [13] Balaras, C.A., Gaglia, A.G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Lalas D.P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42 (3), 1298-1314.
- [14] Ford, A. (2008). Simulation scenarios for rapid reduction in carbon dioxide emissions in the western electricity system. *Energy Policy*, 36(1), 443-455.
- [15] Blesl, M., Das, A., Fahl, U., Remme, U. (2007). Role of energy efficiency standards in reducing CO<sub>2</sub> emissions in Germany: an assessment with TIMES. *Energy Policy*, 35(2), 772-785.
- [16] Hitchin, E.R., Pout, C.H. (2002). The carbon intensity of electricity: how many kgC per kWh? *Building Services. Engineering Research and Technology*, 23(4), 215-222.
- [17] Oliver Ramírez, A. (2009). Integración de materiales de cambio de fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. Aplicación a sistemas de refrigeración y calefacción pasivos para almacenamiento de calor latente en edificios. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- [18] Dolado Bielsa, P. (2011) Almacenamiento térmico de energía mediante cambio de fase. Diseño y modelización de equipos de almacenamiento para intercambio de calor con aire. (Tesis Doctoral). Universidad de Zaragoza, España.



- [19] Abhat, A. (1983). Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar Energy*, 30, 313-332.
- [20] Rodríguez-Ubinas, E. Montero, C. Porteros, M. Vega, S. Navarro, I. Castillo-Cagigal, M. Matallanas, E. Gutiérrez, A. (2014). Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. *Energy and Buildings*,
- [21] Oliver, A. Neila, F. J. García-Santos, A. (2012). PCM choosing and classification according to their characteristics for their application for thermal energy storage systems. *Materiales de Construcción*, 62 (305), 131-140.
- [22] Hunger, M., Entrop, A., Mandilaras, I., Brouwers, H., Founti, M. (2009). The behavior of self-compacting concrete containing micro-encapsulated Phase Change Materials. *Cement & Concrete Composites*, 31(10), 731-743.
- [23] Ansuini, R. Larghetti, R. Giretti, A. Lemma, M. Radiant floors integrated with PCM for indoor temperature control. (2011). *Energy and Buildings*, 43, 3019-3026.
- [24] Royon, L. Karim, L. Bontemps, A. (2013). Thermal energy storage and release of a new component with PCM for integration in floors for thermal management of buildings. *Energy and Buildings*, 63, 29-35.
- [25] Kúznik, F. Virgone, J. Roux, J. (2008). Energetic efficiency of room wall containing PCM wallboard: A full-scale experiment investigation. *Energy and Buildings*, 40, 148-156.
- [26] Konuklu, Y. Unal, M. Paksoy, H.O. (2014). Microencapsulation of caprylic acid with different wall materials as phase change material for thermal energy storage. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 120, 536-542
- [27] Kośny, J. Biswas, K. Miller, W. Kriner, S. (2012). Field thermal performance of naturally ventilated solar roof with PCM heat sink. *Solar Energy*, 86, 2504-2514.
- [28] Alqallaf, H. Alawadhi, E. (2013). Concrete roof with cylindrical holes containing PCM to reduce the heat gain. *Energy and Buildings*, 61, 73-80.